

Popov I.I., Tolkunov I.A., Shevchuk A.R.

Research ways determination localization sources of gamma-radiation is in the areas of radiocontammant

On the basis analysis existent facilities for determination localization sources gamma-radiation a chart is offered for a directionfinding on the source of gamma-radiation, allowing to perfect the process exposure place location source gamma-radiation in the areas of radiocontammant

Key words: source of gamma-radiation, localization source of gamma-radiation, gamut-spectrum, fluence gamma-quanta, coefficient of weakening, corner of sending to the source

УДК 614.8

*Поспелов Б.Б., д-р техн. наук, вед. науч. сотр., НУГЗУ,
Шевченко Р.И., канд. техн. наук, нач. лаб., НУГЗУ*

**АЛГОРИТМ ОПТИМАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ
МНОЖЕСТВА ДАТЧИКОВ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА
ОБЪЕКТОВ ПОВЫШЕННОЙ ОПАСНОСТИ**

(представлено д-ром физ.-мат. наук Яковлевым С.В.)

Рассмотрен алгоритм оптимальной обработки измерительной информации множества датчиков в системах мониторинга объектов повышенной опасности

Ключевые слова: оптимальная обработка, измерительная информация, датчики, системы мониторинга, объекты повышенной опасности

Постановка проблемы. Активизация производственно-хозяйственной деятельности в различных отраслях способствует росту числа и разнообразия типов объектов повышенной опасности. С целью снижения возможных негативных воздействий таких объектов на окружающую среду проводятся различные мероприятия. Наиболее эффективным из них является мониторинг (активный контроль) их состояния. Основная задача мониторинга объектов повышенной опасности, отличающая его от обычного информирования экстренных служб о факте наличия чрезвычайных ситуаций (ЧС), состоит в своевременном выявлении опасных ситуаций, прекращении их развития и недопущении возникновения по их причине различных видов ЧС. Традиционно для активного контроля объ-

Поспелов Б.Б., Шевченко Р.И.

ектов повышенной опасности (опасных объектов) применяются различные технические (автоматические и автоматизированные) системы мониторинга их состояния. В силу сложности структуры, пространственной конфигурации и функционального взаимодействия элементов современных объектов повышенной опасности их эффективный мониторинг требует использования большого числа различных типов датчиков и совместной обработки всей имеющейся информации для высокоточной оценки измеряемых параметров состояния объектов. В условиях роста числа, сложности, масштабов и разнообразия опасных объектов использование традиционных технологий мониторинга оказывается мало эффективным. Поэтому одной из важных и актуальных проблем дальнейшего безопасного развития общества является повышение эффективности технических систем мониторинга опасных объектов по данным наблюдения множества датчиков о параметрах их состояния.

Анализ последних исследований и публикаций. В последнее время повышение эффективности технических систем мониторинга опасных объектов все чаще базируется на использовании системного подхода [1], применении современных технологий спутникового мониторинга [2] и глобального позиционирования, сетевого взаимодействия, новых методов беспроводной цифровой передачи и приема данных, а также алгоритмов обработки, хранения и анализа измерительной информации первичных датчиков [3,4]. Например, технологии сетевого взаимодействия позволяют объединять датчики и группы датчиков в единую сенсорную сеть, представляющую собой распределённую, самоорганизующуюся сеть множества датчиков (сенсоров) и исполнительных устройств, объединённых беспроводными технологиями. За счет ретрансляционной способности сети область мониторинга может составлять от нескольких квадратных метров до нескольких квадратных километров. Переход к высокоинформативным системам мониторинга с множеством датчиков, объединённых в единую информационную систему, приводит к возникновению синергетических эффектов, благодаря которым существенно улучшается качество и доступность измерительной информации, повышается точность оценивания состояния, надёжность и помехоустойчивость системы [2].

Несмотря на значительное число публикаций, посвященных мониторингу опасных объектов и внедрению передовых технологий, вопросам оптимизации совместной обработки первичной информации от множества датчиков или групп датчиков для формирования оптимальной оценки измеряемых параметров состояния опасных объектов уделено недостаточное внимание.

Постановка задачи и ее решение. Целью работы является определение алгоритма совместной обработки первичной информации от множества датчиков в технических системах мониторинга объектов повышенной опасности для формирования оптимальной оценки параметров их состояния.

Будем полагать, что структура обобщенной технической системы мониторинга объектов повышенной опасности соответствует представленной на (рис. 1). Пусть с помощью некоторого множества датчиков оценивается заданный вектор $\Lambda(t)$ параметров состояния объекта, непрерывно меняющийся во времени t . Для большинства объектов повышенной опасности вектор параметров их состояния $\Lambda(t)$ может быть описан уравнением

$$d\Lambda(t) / dt = G[\Lambda(t), t] + \Theta(t). \quad (1)$$

где $G(\cdot)$ - заданная нелинейная векторная функция; $\Theta(t)$ - соответствующий вектор гауссовых шумов с нулевым средним и корреляционной матрицей $N_{\Theta}(t)\delta(t - \tau)$ двухсторонних спектральных плотностей, где τ - произвольный временной сдвиг относительно момента t . Векторный процесс $\Theta(t)$ является формирующим и характеризует случайную динамику вектора $\Lambda(t)$ параметров состояния. Обычно решение уравнения (1) определяется при начальном значении вектора $\Lambda(t_0) = \Lambda_0$. Вектор параметров состояния $\Lambda(t)$ объекта подлежит мониторингу с помощью множества M датчиков. Измерительная информация на выходе M датчиков в общем случае представляет собой некоторое преобразование $S(\cdot)$ вектора истинных параметров $\Lambda(t)$ состояния, которое сопровождается воздействием аддитивных некоррелированных случайных помех $\varepsilon_1(t), \varepsilon_2(t), \dots, \varepsilon_M(t)$.

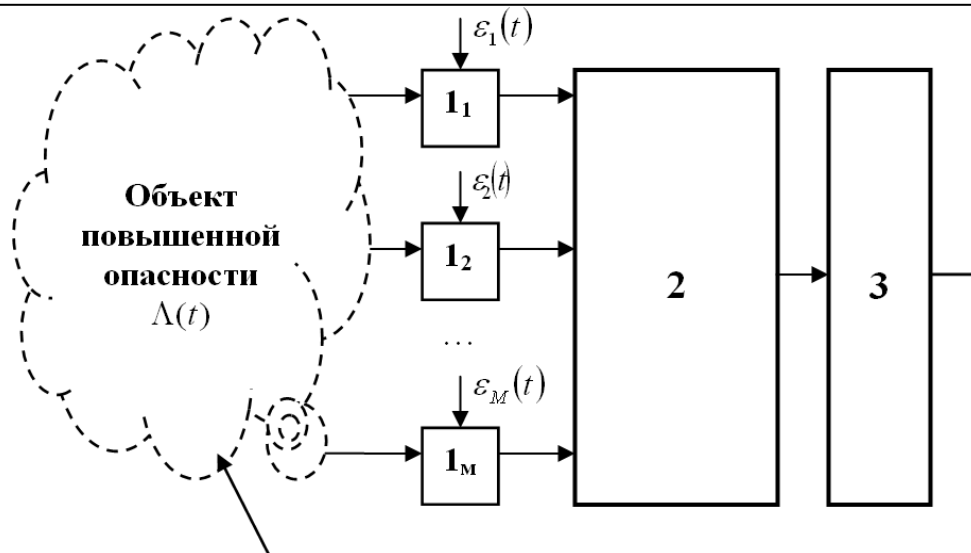


Рис. 1 – Структура обобщенной технической системы мониторинга объектов повышенной опасности: $1_1, 1_2, \dots, 1_M$ – датчики; 2 – система оптимальной обработки данных и принятия решения о возникновении опасного состояния; 3 – система ликвидации опасного состояния

В этом случае наблюдения $Y(t)$ будут описываться векторным уравнением

$$Y(t) = S[\Lambda(t)] + \Sigma(t), \quad (2)$$

где $S(\cdot)$ - заданная векторная нелинейная функция, которая описывает преобразования вектора истинных параметров $\Lambda(t)$ состояния в среде передачи и измерительных датчиках; $\Sigma(t)$ - соответствующий вектор гауссовых шумов $\varepsilon_i(t)$, $i = \overline{1, M}$ с нулевым средним и корреляционной матрицей $N_\Sigma(t)\delta(t - \tau)$ двухсторонних спектральных плотностей, где τ - произвольный временной сдвиг относительно момента t , а $N_\Sigma(t)$ - матрица двухсторонних спектральных плотностей процесса $\Sigma(t)$.

Требуется по результатам наблюдения (2) на интервале времени $[0, T]$ с учетом (1) сформировать оптимальную в смысле минимума дисперсии погрешности оценку $\hat{\Lambda}(t)$ вектора параметров состояния $\Lambda(t)$ объекта.

Часто в практике мониторинга состояния объектов повышенной опасности на интервале наблюдения можно вос-

пользоваться первым приближением (1) и (2) и представить их в виде

$$d\Lambda(t) / dt = A(t)\Lambda(t) + \Theta(t). \quad (3)$$

$$Y(t) = H(t)\Lambda(t) + \Sigma(t), \quad (4)$$

где $A(t)$, $H(t)$ - соответствующие матрицы первого приближения, характеризующие динамические свойства вектора параметров состояния и свойства среды и параметры используемых измерителей. С учетом представлений (3) и (4) общий алгоритм оптимальной обработки наблюдений $Y(t)$ произвольного числа датчиков будет определяться известными [5] соотношениями

$$d\hat{\Lambda} / dt = B(t)\hat{\Lambda}(t) + K(t)Y(t), \quad (5)$$

$$B(t) = A(t) - K(t)H(t), \quad (6)$$

$$K(t) = R(t)H^T(t)N_{\Sigma}^{-1}(t), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} dR / dt = N_{\Theta}(t) + A(t)R(t) + R(t)A^T(t) - \\ - R(t)H^T(t)N_{\Sigma}^{-1}(t)H(t)R(t), \end{aligned} \quad (8)$$

где $B(t)$ - скорректированная матрица $A(t)$ первого приближения уравнения состояния (1); $K(t)$ - матричный коэффициент усиления; $R(t)$ - корреляционная матрица ошибок оценивания заданных параметров состояния.

Соотношения (5) – (8) будут определять обобщенный алгоритм оптимальной обработки измерительной информации в системах мониторинга с множеством датчиков, измеряющих произвольные параметры состояния опасных объектов с учетом заданных параметров среды и измерительных датчиков. Например, в случае мониторинга пожароопасных объектов вектор $\Lambda(t)$ оцениваемых параметров состояния может включать среднеобъемную температуру, а также ее первую и вторую производные. В качестве составляющих вектора состояния, возможно, рассматривать также и температуру газовой среды, оптическую концентрацию дыма, концентрации токси-

ческих газов, а также температуру пламени. При этом параметры среды и используемых датчиков учитываются свойствами элементов матрицы $H(t)$ в (4). В общем случае число датчиков, используемых для мониторинга по каждому из указанных параметров состояния, может быть произвольным.

Для конкретизации полученных выше результатов рассмотрим частный, но типичный случай оценивания одного произвольного параметра $\lambda(t)$ состояния объекта. В этом случае уравнение параметра состояния объекта определим в виде

$$d\lambda(t) / dt = -\alpha\lambda(t) + \theta(t). \quad (9)$$

где α - скалярный параметр, характеризующий динамические свойства параметра $\lambda(t)$ состояния объекта; $\theta(t)$ - случайный гауссов процесс с нулевым средним и спектральной плотностью $N_\theta / 2$, учитывающий степень неопределенности модели объекта (9). Полагая, что мониторинг параметра $\lambda(t)$ осуществляется с использованием M датчиков, уравнение наблюдения (4) будет иметь вид

$$Y(t) = H(t)\lambda(t) + \Sigma(t), \quad (10)$$

В этом случае $Y(t)$, $H(t)$ и $\Sigma(t)$ в (10) представляют собой M -мерные векторы, составляющие которых, характеризуют соответственно наблюдения, параметры среды и измерительных датчиков, а также гауссовых шумов наблюдений $\varepsilon_i(t)$ с нулевыми средними и спектральными плотностями $N_i / 2$, $i = \overline{1, M}$. При этом вектор параметров среды и измерительных датчиков $H^T(t) = [h_1, h_2, \dots, h_i, \dots, h_M]$, где h_i - параметр, характеризующий свойства среды и i -го датчика. С учетом общего выражения (5) алгоритм оптимального оценивания параметра состояния $\lambda(t)$ объекта будет определяться в виде

$$d\hat{\lambda} / dt = [-\alpha - K(t)H(t)]\hat{\lambda}(t) + K(t)Y(t), \quad (11)$$

$$K(t) = 2R(t)[h_1N_1^{-1}, h_2N_2^{-1}, \dots, h_iN_i^{-1}, \dots, h_MN_M^{-1}], \quad (12)$$

$$dR / dt = 2\alpha D_\lambda - 2\alpha R(t) - 2R^2(t) \sum_{i=1}^M h_i^2 N_i^{-1}, \quad (13)$$

где $D_\lambda = N_\theta / 4\alpha$ - дисперсия оцениваемого параметра состояния $\lambda(t)$ объекта. Соотношения (11) - (13) определяют структуру оптимальной обработки измерительной информации с выходов M датчиков с учетом среды и их параметров в случае мониторинга одного произвольного параметра состояния объекта, описываемого (9).

Основными функциональными составляющими такой структуры являются элемент сжатия входной измерительной информации, реализующий операцию весового взвешивания $K(t)Y(t)$, и элемент адаптивной коррекции $-\alpha - b(t)$ динамических свойств оцениваемого параметра. С учетом представления (12) указанная коррекция является динамической и определяется функцией $b(t) = K(t)H(t) = 2R(t) \sum_{i=1}^M h_i^2 N_i^{-1}$. Харак-

терной при этом является зависимость процедур сжатия и адаптивной коррекции от ошибки оценивания, свойства среды, параметров датчиков и шумов измерений. При этом указанные процедуры при оптимальной обработке должны выполняться в текущем времени, что требует определения динамического решения уравнения (13) для дисперсии ошибки оценивания. Однако если пренебречь переходными процессами, то можно ограничиться определением стационарного решения (13). Дисперсия ошибки оценивания в этом случае будет определяться

$$R_s = \left[\sqrt{\alpha^2 + 4D_\lambda \sum_{i=1}^M h_i^2 N_i^{-1} \alpha} - \alpha \right] \left[2 \sum_{i=1}^M h_i^2 N_i^{-1} \right]^{-1}. \quad (14)$$

Введем для i -ого наблюдения отношение сигнал-шум $q_i = 4D_\lambda h_i^2 N_i^{-1} \alpha^{-1}$, а также суммарное отношение сигнал-шум для M наблюдений

$$q_\Sigma = \sum_{i=1}^M q_i = 4D_\lambda \alpha^{-1} \sum_{i=1}^M h_i^2 N_i^{-1}. \quad (15)$$

Тогда с учетом (15) выражение (14) может быть представлено в виде

$$R_s = 2D_\lambda(\sqrt{1 + q_\Sigma} - 1) / q_\Sigma. \quad (16)$$

При одинаковых значениях h_i , характеризующих параметры среды и датчиков, и равноточных измерениях $q_i = q_1$, $i = \overline{1, M}$ величина суммарного отношения сигнал-шум $q_\Sigma = Mq_1$. Это означает, что выражение (16) можно представить в виде

$$R_s = 2D_\lambda(\sqrt{1 + Mq_1} - 1) / Mq_1. \quad (17)$$

На рис.2 приведены зависимости для установившейся дисперсии ошибки оценивания (17) при различных значениях $q_i = q_1$, равных 2, 4, 10 и 0,1.

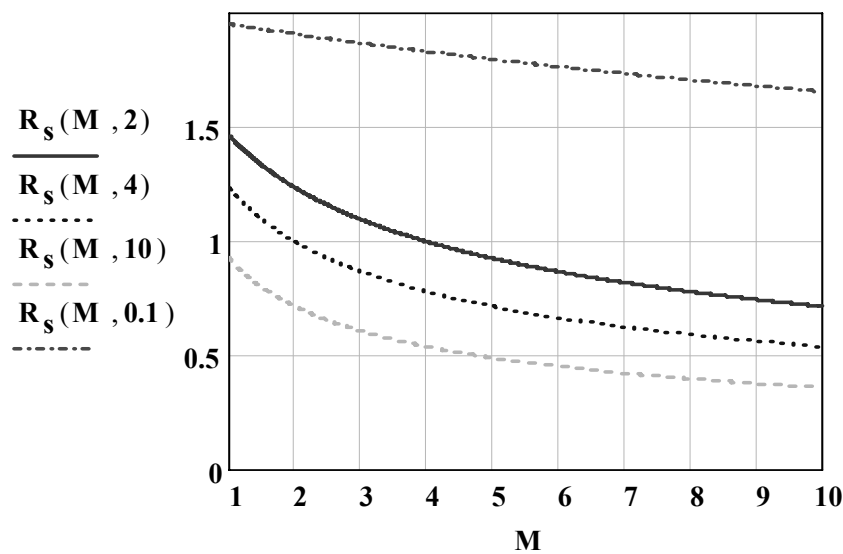


Рис. 2 – Зависимость дисперсии стационарной ошибки оценивания от числа датчиков при различных входных отношениях сигнал-шум

Из анализа зависимостей (рис. 2) следует, что мониторинг объектов с использованием множества датчиков в целом оказывается эффективнее по величине дисперсии ошибки оценивания параметра $\lambda(t)$, которая имеет общую тенденцию снижения с увеличением числа датчиков. При этом из выра-

жения (17) следует, что мониторинг на основе множества датчиков с точки зрения стационарной ошибки оценивания параметра $\lambda(t)$ эквивалентен мониторингу с использованием одного датчика, в котором отношение сигнал-шум q_1 соответствует суммарному отношению сигнал-шум q_Σ .

Учитывая, что время установления стационарного режима зависит от величины отношения сигнал-шум, быстродействие мониторинга при использовании множества датчиков оказывается выше по сравнению со случаем использования одного датчика. В этой связи представляется интересным определить проигрыш в точности оценивания параметра состояния объекта при использовании одного и множества датчиков. Выигрыш определим величиной $\zeta = (R_{1s} / R_s)^{0.5}$, где R_{1s} - дисперсия стационарной ошибки оценивания параметра в случае одного датчика. С учетом (16) получим, что

$$\zeta = \left[\sum_{i=1}^M h_i^2 N_i^{-1} (\sqrt{1 + 4D_\lambda h_1^2 N_1^{-1} \alpha^{-1}} - 1) \times \right. \\ \left. \times \left(h_1^2 N_1^{-1} (\sqrt{1 + 4D_\lambda \alpha^{-1} \sum_{i=1}^M h_i^2 N_i^{-1}} - 1) \right)^{-1} \right]^{0.5}. \quad (18)$$

При одинаковых h_i и равноточных измерениях величина выигрыша

$$\zeta(M, q_1) = \sqrt{M} [(\sqrt{1 + q_1} - 1) / (\sqrt{1 + Mq_1} - 1)]^{0.5}. \quad (19)$$

Зависимости величины выигрыша (19) от числа датчиков для различных значений q_1 представлены на рис.3. Из анализа кривых на рис.3 следует, что величина выигрыша увеличивается с ростом числа датчиков и величины отношения сигнал-шум q_1 , пропорциональной значениям h_1^2 , N_i^{-1} , D_λ и α^{-1} .

Это означает, что мониторинг объектов с использованием множества датчиков в условиях, когда среда наблюдения и параметры датчиков, характеризуются величиной $h_i \ll 1$, а $N_i^{-1} \ll 1$ и $\alpha^{-1} \ll 1$ при прочих равных условиях является нежелательным, поскольку приводит к снижению величины

Поспелов Б.Б., Шевченко Р.И.

суммарного отношения сигнал-шум и выигрыша в целом. Часто в практике мониторинга опасных объектов большой протяженности основными внешними факторами являются условия среды и параметры используемых датчиков.

Пренебрегая переходными процессами в датчиках и полагая, что условия среды и параметры датчиков одинаковы и $h_i = h_1$, величина выигрыша с учетом (19) может быть представлена в виде

$$\chi(h_1, M, q_1) = \sqrt{M} [(\sqrt{1 + h_1^2 q_1} - 1) / (\sqrt{1 + h_1^2 M q_1} - 1)]^{0.5}. \quad (20)$$

На рис. 4 представлены зависимости выигрыша (20) от величины, характеризующей условия среды и параметры используемых датчиков, для фиксированного числа датчиков $M = 10$. При условии увеличения числа датчиков наблюдается рост величины общего выигрыша.

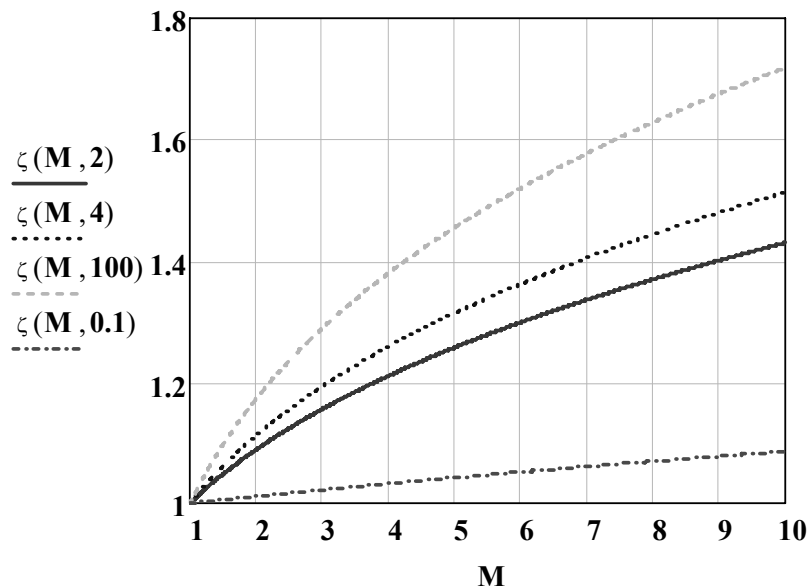


Рис. 3 – Зависимости выигрыша от числа датчиков при отношении сигнал-шум q_1 , равном 2, 4, 100 и 0,1

В качестве иллюстрации на рис. 5 представлена зависимость выигрыша, определяемого (20), от числа используемых датчиков M , а также условий среды наблюдения и парамет-

ров датчиков h_1 при фиксированном отношении сигнал-шум $q_1 = 100$.

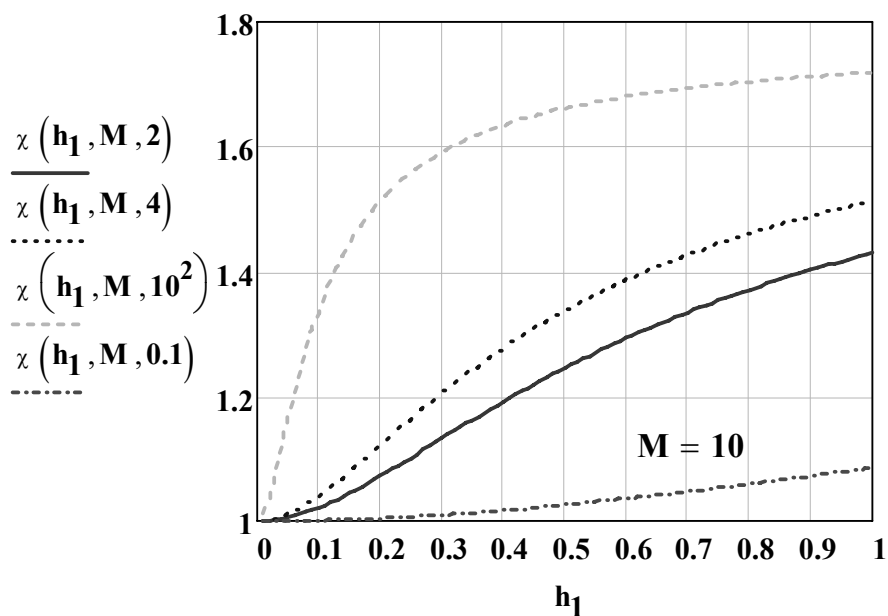


Рис. 4 – Зависимости выигрыша от условий среды наблюдения и параметров датчиков

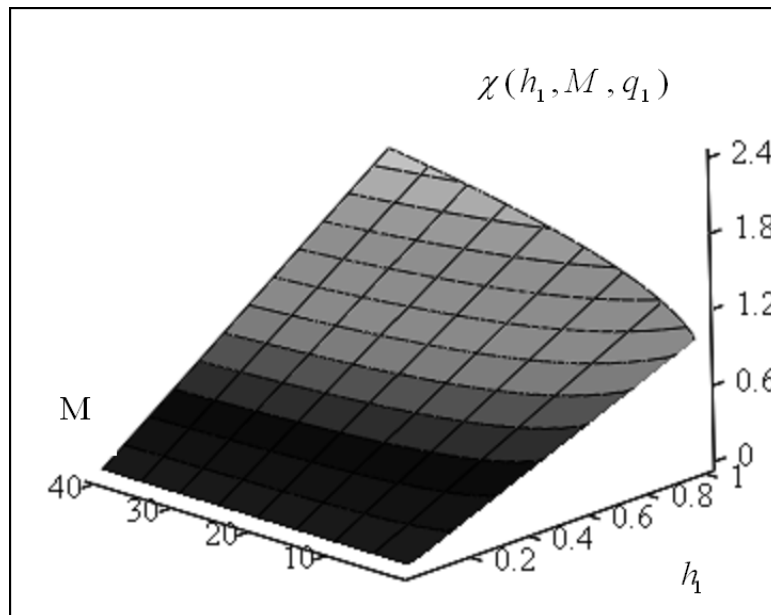


Рис. 5 – Зависимость выигрыша для различных условий среды наблюдения, параметров и числа датчиков

Из анализа данных, представленных на рис.5 следует, что на величину выигрыша оказывает существенное влияние

параметры среды наблюдения (без учета аддитивных помех) и датчиков, характеризующих результирующий уровень наблюдения измеряемого параметра состояния. Поэтому в системах мониторинга с большим числом датчиков необходимо обеспечивать инвариантность измеряемого параметра состояния к условиям среды наблюдения и отсутствие затухания в первичных датчиках. В противном случае ожидаемый выигрыш будет существенно ниже потенциального.

Выводы. Таким образом, рассмотрен алгоритм оптимальной обработки измерительной информации множества датчиков о параметрах состояния в системах мониторинга объектов повышенной опасности. Основными функциональными особенностями алгоритма являются сжатие входной измерительной информации путем соответствующей весовой обработки наблюдений и адаптивная коррекция динамики оцениваемого вектора параметров состояния объекта. При этом процедура сжатия и адаптивной коррекции определяются ошибкой оценивания, параметрами датчиков и шумами измерений. Указанные процедуры являются динамическими и требуют определения решения уравнения для дисперсии ошибки оценивания в текущем времени. Если пренебречь переходными процессами, то можно ограничиться определением стационарного решения, что значительно упрощает реализацию рассматриваемого алгоритма обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Поспелов Б.Б. Системные модели состояния опасных объектов техногенного природного характера / Б.Б. Поспелов, Р.И. Шевченко, А.Н. Колонов // Проблемы надзвичайних ситуацій. – Х.: НУГЗУ, 2013. – Вып. 17. – С. 113-125.
2. Малышев В.В., Красильщиков М.Н. Спутниковые системы мониторинга. Анализ, синтез и управление, под редакцией В.В.Малышева. - М.: Изд-во МАИ, 2000, - 568 с.: ил.
3. Парк Дж., Маккей С. Сбор данных в системах контроля и управления: практическое руководство / Дж. Парк. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2006. – 504 с.
4. Поспелов Б.Б. Структурный метод повышения надежности датчиков первичной информации в системе ослабления последствий чрезвычайной ситуации / Б.Б. Поспелов, А.Е.

Басманов // Проблеми надзвичайних ситуацій. – Х.: НУГЗУ, 2011. – Вип. 14. – С. 129-134.

5. Тихонов В.И., Харисов В.Н. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем. – М.: Радио и связь, 1991. – 608 с.: ил.

Поспелов Б.Б., Шевченко Р.І.

Алгоритм оптимальної обробки інформації безлічі датчиків у системах моніторингу об'єктів підвищеної небезпеки

Розглянуто алгоритм оптимальної обробки вимірювальної інформації безлічі датчиків у системах моніторингу об'єктів підвищеної небезпеки

Ключові слова: оптимальна обробка, вимірювальна інформація, датчики, системи моніторингу, об'єкти підвищеної небезпеки

Pospelov B.B., Shevchenko R.I.

Algorithm for optimal processing of information plurality of sensors in monitoring system high risk facilities

An algorithm for optimal processing of measuring data set of sensors in the monitoring of high-risk

Key words: optimal treatment measurement information, sensors, monitoring systems, major hazard

УДК 911.3:502.175

Рогозін А.С., канд. техн. наук, докторант, НУЦЗУ

ОЦІНКА РІВНЯ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ НА ТЕРИТОРІЇ АДМІНІСТРАТИВНО-ТЕРИТОРІАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ

(представлено д-ром техн. наук Туркіним І.Б.)

Розроблено підхід комплексної оцінки рівня цивільного захисту, який побудовано на основі комплексного врахування потенційних загроз природного та техногенного характеру, частоти їх реалізації, забезпеченості територій адміністративно-територіальних одиниць силами та засобами цивільного захисту. Визначено показники, що характеризують стан безпеки на території адміністративно-територіального утворення.

Ключові слова: оцінка, рівень, безпека, методика, стан

Постановка проблеми. Необхідною умовою забезпечення ефективності заходів цивільного захисту є адекватна та

Рогозін А.С.